

INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS Y LA POSICIÓN EN EL PAISAJE SOBRE LA RESPUESTA HIDROLÓGICA DE SUELOS PERTENECIENTES A UNA CUENCA DE LA PAMPA ONDULADA

Celio I. Chagas⁽¹⁾, Filipe B. Kraemer⁽¹⁾, Santiago Utin⁽¹⁾, Carlos Irurtia⁽²⁾ y Oscar J. Santanatoglia⁽¹⁾

⁽¹⁾ Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía UBA. Avenida San Martín 4453 (1417) Ciudad Autónoma de Bs. As., República Argentina.

⁽²⁾ CIRN INTA Castelar, Bs. As., República Argentina.

e_mail: chagas@agro.uba.ar

RESUMEN

Se están llevando a cabo estudios hidrológicos en la cuenca del Arroyo del Tala (Pampa Ondulada, Buenos Aires, Argentina), que incluyen el monitoreo del escurrimiento en cuencas aforadas y el planteo de experimentos usando lluvia simulada. A partir de dichos estudios se pudo advertir una discordancia entre la respuesta hidrológica de una microcuenca agrícola y de una cuenca de 400 km² que presentaba tanto suelos agrícolas como suelos ganaderos con características sódicas. El objetivo del presente trabajo ha sido evaluar la generación de escurrimiento superficial y erosión hídrica correspondiente a cuatro tratamientos cuyas propiedades edáficas y uso de la tierra se consideraban representativos del área estudiada. Los experimentos de campo consistieron en la aplicación de lluvia simulada de alta intensidad sobre los tratamientos estudiados en condición de suelo desnudo. A diferencia de los restantes tratamientos, la situación bajo uso ganadero caracterizada por su escaso contenido de materia orgánica, pobres condiciones físicas y elevado porcentaje de sodio intercambiable desde la superficie, evidenció la más baja tasa final de infiltración del ensayo (1 mm h⁻¹) y la más elevada tasa de producción de sedimentos (349 g m⁻²). Dada su posición cercana al curso principal de agua, estos ambientes implicarían un considerable riesgo para dicho recurso hídrico por su potencialidad de generar contaminantes físicos, químicos y biológicos. Este resultado muestra que los suelos sódicos podrían ser en parte responsables de la discordancia observada en la respuesta hidrológica de la microcuenca agrícola comparada con la correspondiente a la cuenca agropecuaria de 400 km².

Palabras clave: cuenca, escorrentía, erosión.

ABSTRACT

Research in the Tala's Creek Basin (Rolling Pampa, Argentina) including the monitoring of gauged watersheds and field rainfall simulation experiments is being carried out. It showed disagreement between the hydrological response of a small arable watershed compared to a basin of 400 km² containing both arable soils and non arable sodic soils. The objective of this work was to assess the generation of surface runoff and soil erosion corresponding to four treatments whose soils and land use are representative of the studied region. The field trials consisted in the application of high-intensity simulated rainfall on soils under bare surface condition. Unlike the rest of the treatments, the situation under livestock use with low organic carbon content, poor physical condition and high percentage of exchangeable sodium at the topsoil, showed the lowest final infiltration rate (1 mm h⁻¹) and the largest sediment yield (349 g m⁻²). Due to its position close to the main stream, this site can pose an important risk to the studied water course because it is a source of physical, chemical and biological contaminants. These results show that sodic soils may be partially responsible for the lack of agreement between the small watershed and the basin's hydrological response to rainfall events.

Keywords: basin, runoff, erosion.

INTRODUCCIÓN

La agricultura ha sido señalada como la principal causante de la degradación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos en EEUU, a menudo asociado a la ocurrencia de erosión hídrica (Ongley, 1997). El escurrimiento proveniente de tierras agropecuarias puede constituirse en un transportador de diversos contaminantes disueltos y particulados presentes en la superficie de los suelos. Los sedimentos originados por erosión hídrica se consideran los principales contaminantes físicos de origen agropecuario que afectan los cursos de agua. Dichas partículas pueden a su vez adsorber y transportar diferentes tipos de contaminantes químicos y biológicos.

En la Pampa Ondulada Argentina, la erosión afecta a más del 30% de las tierras (Irurtia et al., 1988), siendo dominante como subproceso la erosión laminar o mantiforme. Este tipo de erosión superficial es provocada por el impacto de la gota de lluvia y moviliza sedimentos livianos, partículas poco densas y de escaso tamaño tales como agregados muy pequeños, limos, arcilla y coloides orgánicos. El mismo es difícil de predecir porque los efectos de sellamiento superficial que dependen de la estabilidad estructural afectan diferencialmente al desprendimiento y al transporte del suelo desprendido (Nearing et al., 1990).

Por otra parte, la infiltración del agua en la zona vadosa o no saturada del suelo es una propiedad que interviene en la mayoría de los modelos de transporte de agua-solutos y de crecimiento de cultivos. Es esencial para la predicción del escurrimiento y el transporte de sedimentos. La entrada de agua en el suelo es afectada por su textura, estructura, grado de compactación, distribución por tamaño de poros y la disposición y geometría de los mismos. También es afectada por las características de la superficie, proporción del suelo cubierto por vegetación, propiedades hidrodinámicas del suelo, tales como la conductividad hidráulica, la retención de humedad del suelo, y el contenido de agua del suelo al comienzo del evento de precipitación.

Existen diversas formas de cuantificar la pérdida de suelo por erosión laminar y a su vez el balance de infiltración/escurrimiento. Entre ellas se puede citar el uso de simuladores de lluvia que permiten evaluar en forma comparativa en el terreno, la infiltración, el escurrimiento y las pérdidas de

suelo (Chagas, 1995). Para ello se aplican lluvias simuladas con intensidad y energía conocidas, en distintas condiciones de pendiente, roturación y cobertura del suelo (Irurtia y Mon, 1994).

En la cuenca del Arroyo del Tala, Prov. de Buenos Aires (Figura 1) se están llevando a cabo estudios de escurrimiento y erosión hídrica de corto y largo plazo (Buján et al., 2003; De la Vega et al., 2004; Chagas et al., 2008). Algunos trabajos mostraron que la escala de percepción podría tener influencia sobre la dinámica hídrica (Massobrio et al., 1998; Chagas, 2007; Kraemer 2011). En este sentido, se observó que la respuesta hidrológica de una subcuenca agropecuaria aforada de 409 km² difería de la obtenida a nivel de una microcuenca agrícola aforada de primer orden y 3 km² de superficie, adyacente a la anterior (Figura 2). Durante un monitoreo hidrológico bianual, la subcuenca agropecuaria produjo mayor cantidad de eventos de escurrimiento directo que la microcuenca agrícola (Figura 3). Este comportamiento diferencial podría asociarse a la variabilidad espacio-temporal de las lluvias. Sin embargo no se puede descartar la influencia que tendría la variabilidad edáfica, habida cuenta que en los interfluvios existen suelos agrícolas con elevada capacidad de uso mientras que en los planos aluviales dominan suelos sódicos con capacidad de uso muy limitada (INTA 1973). Siendo que la mayoría de los ensayos de simulación de lluvia en dicha cuenca fueron hechos sobre suelos agrícolas (De la Vega et al., 2004; Chagas et al., 2004; Chagas et al., 2007) resultaría conveniente la implementación de experimentos comparativos que incluyan suelos hidrohalmórficos bajo uso ganadero, los cuales representan al menos un 20% de la superficie total de dicha cuenca y además se localizan en las proximidades de los principales cursos de agua. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo consistió en cuantificar la dinámica del escurrimiento y producción de sedimentos para así evaluar la fragilidad de cuatro suelos contrastantes, representativos de una cuenca de la Pampa Ondulada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde a las cuencas media y alta del Arroyo del Tala. Dicho arroyo se ubica en el sector NE de la provincia de Buenos Aires y desagua en el Río Baradero, afluente del Paraná (Figura 1). El clima de la región es templado cálido con precipitaciones medias registradas por el

INTA San Pedro para el período 1965-2008 de 1051 mm (INTA, 2009). Utilizando un microsimulador de lluvia (Figura 4, Irurtia y Mon 1994) se realizaron ensayos a campo de escurrimiento sobre cuatro suelos con características físicas y químicas y de uso contrastantes ubicados en el tercio medio y superior de dicha cuenca, respectivamente.

Tres de los cuatro tratamientos estaban ubicados en sectores bajos correspondientes al plano aluvial, típicamente ganaderos, variando en su sodicidad y grado de deterioro químico y físico. El cuarto tratamiento correspondió a un suelo agrícola alto, bien drenado, ubicado en posición de media loma.

A continuación se los describe en forma resumida. Dos tratamientos ganaderos correspondían a un mismo establecimiento, Est. Los Patricios (UBA) ubicado en la cuenca media del arroyo y consistían en tierras de pastizal bajo uso ganadero imperfecta a pobremente drenadas, con presencia de alcalinidad en el subsuelo. Las mediciones se realizaron en dos situaciones: una considerada no degradada (GN) y otra afectada por erosión severa y con alto grado de sodicidad desde superficie (GS). El tercer tratamiento ganadero estaba ubicado en el plano aluvial del arroyo pero al oeste de los anteriores en la cuenca alta del Arroyo y consistió en un suelo bajo, degradado y afectado por erosión hídrica muy severa (GD). El tratamiento agrícola (AG) consistió en un suelo de media loma, argiudol vértico moderadamente erosionado dedicado a la agricultura bajo siembra directa desde 1999, ubicado en el campo Los Patricios (UBA). La descripción de los suelos a campo coincidió con la realizada oportunamente por INTA (1973).

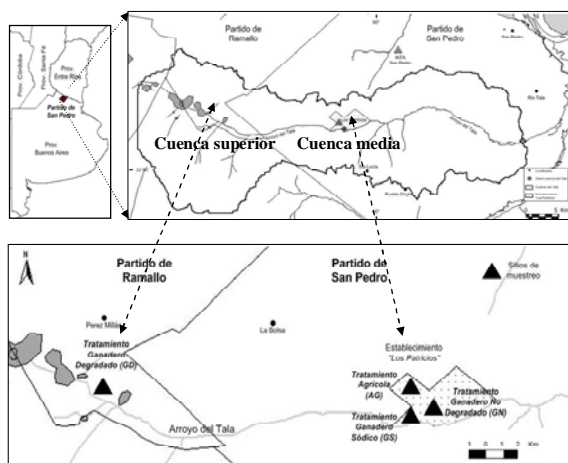


Figura 1. Localización de la cuenca del Arroyo del Tala (Provincia de Buenos Aires) y de los sitios experimentales.

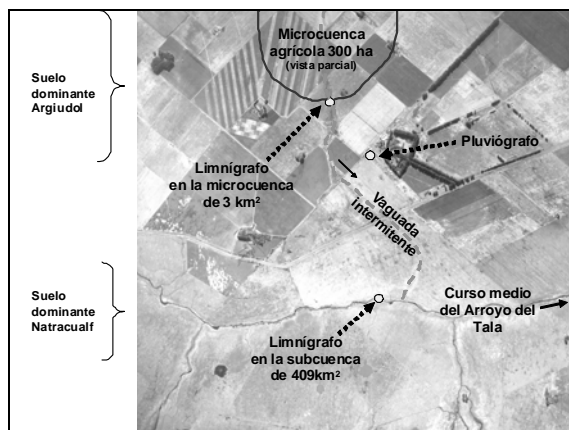


Figura 2. Detalle del instrumental hidrometeorológico instalado en el Establecimiento Los Patricios (UBA) situado en la vertiente norte de la cuenca media del Arroyo del Tala y ubicación de los suelos dominantes (adaptado de Chagas, 2007).

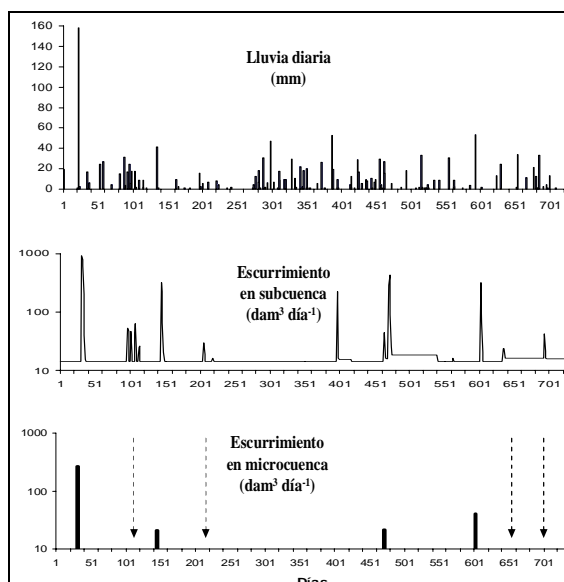


Figura 3. Lluvias y escurrimientos directos diarios registrados en el Arroyo del Tala a nivel de subcuenca (409 km²) y de microcuenca (3 km²). Las líneas verticales punteadas indican los eventos de escurrimiento directo producidos en la subcuenca que no tuvieron su correlato en la microcuenca. Período 2004-2005 (adaptado de Chagas, 2007).

El microsimulador de lluvia empleado (Figura 4) aplica agua destilada en forma de gotas de 4.7 mm cayendo desde 150 cm de altura, sobre parcelas enmarcadas por un bastidor metálico cuadrado de 25 cm de lado (Irurtia y Mon, 1994). Pervio a la realización de las lluvias, cada parcela fue acondicionada de la siguiente forma: a) la parte aérea de la vegetación viva y los residuos vegetales superficiales, fueron quitados a mano alterando mínimamente la estructura edáfica superficial, b) el primer centímetro de suelo fue punteado suavemente con un

cuchillo y posteriormente alisado para uniformizar la superficie y eliminar así las microdepresiones. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento. Todos los ensayos se llevaron a cabo con un grado de humedad edáfica equivalente en el horizonte superficial (0-15 cm). Dicho valor osciló entre 22 y 26 % de humedad gravimétrica. Se aplicaron lluvias con una intensidad de 60 mm por hora. Esta intensidad resulta esperable para la zona de San Pedro con un período de retorno de 10 años. La energía cinética de la gota de lluvia simulada era de $15 \text{ kJ m}^{-2} \text{ m}^{-1}$. El tiempo de ensayo fue de una hora, siendo este un lapso de tiempo prudencial como para cuantificar correctamente el escurrimiento. La infiltración se calculó como diferencia entre agua aplicada y agua escurrida mientras que la tasa de infiltración final se calculó como promedio de las últimas tres lecturas del ensayo. Los valores de escurrimiento se registraron cada 5 minutos.

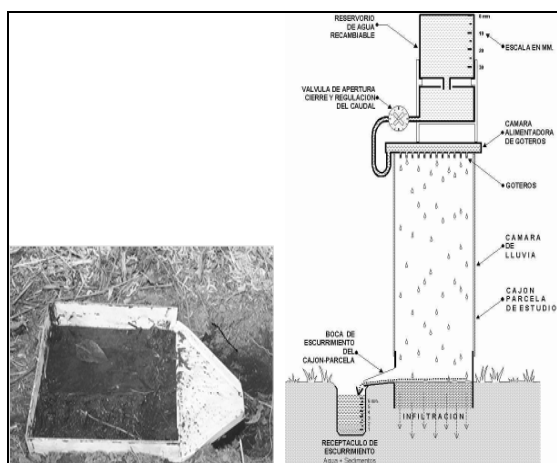


Figura 4. Esquema del simulador de lluvias y detalle del bastidor de la microparcela de escurrimiento, clavado en el suelo (adaptado de Iurtia y Mon, 1994).

A su vez, se realizaron muestreos de los primeros 5 cm de suelo en la zona contigua a las simulaciones de lluvia para evaluar las propiedades físicas y químicas de los mismos. Las muestras fueron transportadas al laboratorio donde se realizó la caracterización física y química de los suelos empleando metodologías estándar. A continuación se detallan las propiedades edáficas analizadas y las metodologías empleadas: textura (método de la Pipeta de Robinson); pH mediante potenciometría de la suspensión suelo:agua 1:2.5; conductividad eléctrica (conductímetro); Na^+ y K^+ en la solución del suelo fueron medidos en el extracto de saturación mediante fotometría de llama, mientras que Mg^{++} y Ca^{++} fueron medidos por titulación y extracción con acetato de amonio 1N; capacidad de

intercambio catiónico mediante extracción con CIK; materia orgánica mediante digestión húmeda y valoración empleando Sal de Mohr. En las fracciones del escurrido fueron medidas, con la misma metodología, el pH, conductividad, además de la concentración de sedimentos (mg l^{-1}). A partir de estos datos se relacionó la caracterización física y química de los suelos con la dinámica del escurrimiento y la producción de sedimento. Se realizaron análisis estadísticos de varianza (Snedecor y Cochran, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra la ubicación de los sitios experimentales. En las Tablas 1 y 2 se presentan las principales propiedades físicas y químicas de los suelos elegidos. El tratamiento agrícola (AG) presentaba un grado de microrugosidad superficial relativamente importante, asociado a la adecuada agregación que caracterizaba a dicho suelo. Igual rasgo presentó el tratamiento ganadero no degradado (GN), aunque el origen de esta rugosidad podría estar dado por los abundantes restos de vegetación hallados a nivel subsuperficial, especialmente raíces y estolones. Las dos situaciones restantes Ganadero Sódico (GS) y Ganadero Degradado (GD) presentaron una superficie escasamente rugosa y bastante pulverulenta. Estas dos últimas presentaron valores relativos más bajos de materia orgánica que los anteriores. Si bien el tratamiento GS evidenció un valor de porcentaje de sodio intercambiable (PSI) mayor al 15% desde la superficie, este valor no se vio reflejado en el pH ya que el tratamiento más alcalino fue el denominado Ganadero Degradado (GD). A este último tratamiento también le correspondió un contenido relativamente elevado de sodio intercambiable, superior a 10% y el valor de densidad aparente más alto del ensayo (1.48 g cm^{-3}). Las propiedades medidas en este último tratamiento indicarían que se trata de un suelo severamente erosionado cuyo horizonte B/E ha quedado expuesto en superficie, evidenciando muy pobres condiciones estructurales asociadas a sus propiedades físicas y químicas.

En la Figura 5 se muestra la dinámica de la tasa de infiltración de los tratamientos analizados. Se observan tres grupos de resultados contrastantes. En el primero se encuentran el suelo agrícola (AG) y el ganadero no degradado (GN) los cuales presentaron una reducción gradual en su tasa de infiltración durante el ensayo, y un valor final que osciló entre 25.4 y 26.2 mm h^{-1} , respectivamente. En otro grupo

se encuentra el suelo ganadero degradado (GD) con una disminución en la tasa de infiltración más intensa que en el caso anterior, la que se verificó hasta la mitad del ensayo, alcanzando a partir de allí un valor de estabilización de 12.9 mm h^{-1} . Por último, se puede observar el suelo ganadero sódico (GS) con un rápido decrecimiento de la infiltración en los primeros minutos del ensayo alcanzando tempranamente una tasa de infiltración final extremadamente reducida, de 1.0 mm h^{-1} .

Tabla 1. Propiedades físicas de los suelos evaluados. Tratamientos: AG: agrícola; GN: ganadero no degradado; GD: ganadero degradado y GS: ganadero sódico.

Trat	Arcilla (%)	Limo(%)	Arena (%)	DAP (g cm^{-3})
AG	31.0	59.0	10.0	1.00
GS	29.0	56.5	14.5	1.10
GN	35.5	56.5	8.0	1.13
GD	36.0	57.0	7.0	1.48

Tabla 2. Propiedades químicas de los suelos evaluados. Tratamientos: AG: agrícola; GN: ganadero no degradado; GD: ganadero degradado y GS: ganadero sódico.

Trat.	MO (%)	pH	CIC (cmol kg^{-1})	PSI (%)
AG	5.9	5.4	18.2	0.7
GS	3.4	7.9	16.5	16.9
GN	5.3	6.0	16.6	2.4
GD	3.1	8.8	30.0	10.7

Coincidentemente, en la Figura 6 se observa respecto de la tasa final de infiltración, una clara diferencia entre los tratamientos GN y AG por un lado y el tratamiento GS por otro, mientras que el tratamiento GD presentó un comportamiento intermedio. El análisis estadístico reflejó este ordenamiento ya que se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) en igual sentido. El rango de resultados de AG y GN era esperable para las texturas franco limosas a franco arcillo limosas que poseen estos suelos en superficie mientras que el comportamiento de GD y GS reflejan sus pobres condiciones estructurales.

Con respecto a la producción total de sedimentos (Figura 7) se observa que el tratamiento GS generó la pérdida de suelo significativamente más elevada ($P < 0.05$) del ensayo, alcanzando 21.8 g . Los restantes tratamientos oscilaron entre 4.0 g y 6.7 g , sin mostrar diferencias significativas entre los mismos. Si bien estos resultados deben considerarse en forma comparativa y no absoluta, resulta destacable señalar que el tratamiento GS perdió casi el 73 % del sedimento que produjo en similares circunstancias un suelo bajo feedlot (Chagas et al., 2007). Al cuantificar la producción de sedimentos correspon-

diente a las últimas tres lecturas, se mantuvieron las diferencias significativas a favor del tratamiento GS aunque sin mostrar contrastes tan marcados como los de la Figura 7. Los valores fueron los siguientes: GS = 2 g , AG = 1.25 g , GD = 0.6 g y GN = 0.25 g .

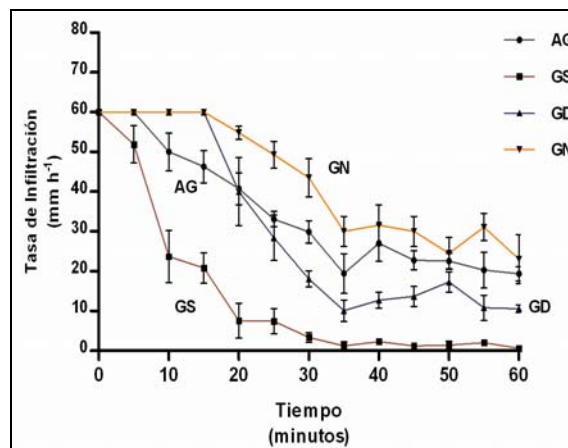


Figura 5. Tasa de infiltración (en mm h^{-1}) correspondiente a los tratamientos AG, GD, GS, GN. Los segmentos verticales corresponden al error estándar.

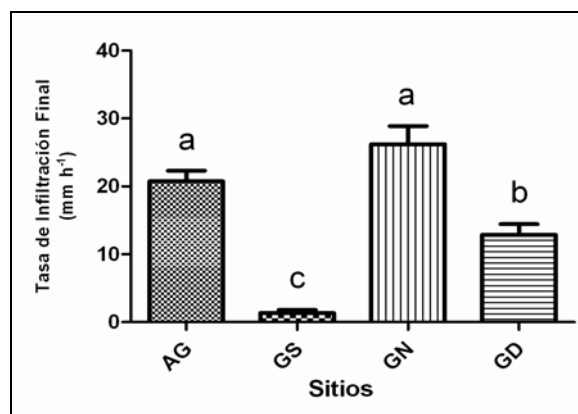


Figura 6. Tasa de infiltración final medida a partir de las últimas tres lecturas del escurrimiento en los ensayos de simulación realizados. Los segmentos verticales corresponden al error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

En cuanto a la concentración total de sedimentos en el agua escurrida, los tratamientos analizados no se diferenciaron estadísticamente entre sí aunque se evidenció una clara tendencia por parte del tratamiento GS a presentar valores más elevados. Las concentraciones obtenidas fueron las siguientes: AG: 488.9 mg l^{-1} , GS: 739.4 mg l^{-1} , GN: 329.8 mg l^{-1} y GD: 253.0 mg l^{-1} .

Estos resultados ponen de manifiesto la capacidad contaminante de los suelos similares al tratamiento GS, habida cuenta que el sedimento es el principal

poluente que genera la actividad agropecuaria sobre los recursos hídricos superficiales (Ongley, 1997). Con respecto al material disuelto este tratamiento también se destacó ya que exportó mayores concentraciones de cationes de sodio y magnesio en el agua de escurrimiento que los restantes suelos analizados (datos no mostrados).

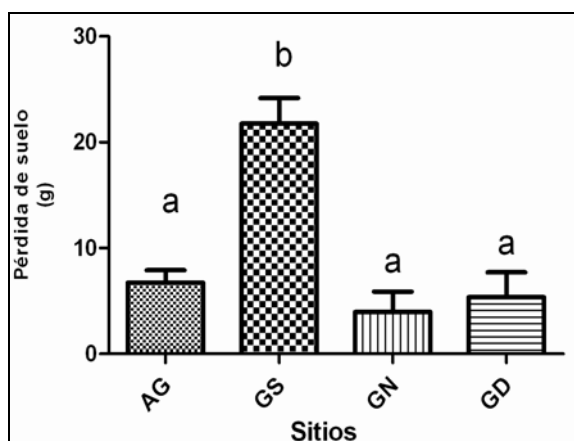


Figura 7. Pérdida total de suelo (g) correspondiente a los ensayos de simulación de lluvia realizados. Los segmentos verticales corresponden al error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Por último se calculó el valor K de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE (Wishmeier y Smith, 1978) teniendo en cuenta que esta propiedad integra diversas variables físicas y químicas e indica la susceptibilidad teórica del suelo a ser erosionado, tanto por procesos laminares como por surcos. Los valores obtenidos expresados en sistema métrico decimal fueron los siguientes (en $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$): AG: 0.48; GS: 0.65; GN: 0.46 y GD: 0.58. Estos valores reflejaron más acabadamente el ordenamiento de los tratamientos frente al proceso de escurrimiento (ver Figura 6) en comparación con el de pérdida de suelo ya mencionado. Estos resultados no deberían sorprender habida cuenta que las propiedades edáficas (textura, materia orgánica, estructura y permeabilidad) que integran el índice de erodabilidad K de USLE son las mismas que estiman la abundancia, estabilidad y continuidad de los macroporos responsables del proceso de infiltración. Además el escurrimiento forma parte del proceso erosivo mediante la generación de capacidad de transporte del material desprendido (Nearing et al., 1990).

Al observar nuevamente la Figura 3 se advierte que los resultados obtenidos podrían estar explicando parte de la discordancia que presentan la microcuenca agrícola y la subcuenca agropecuaria. Debe tenerse en cuenta que la microcuenca de 3 km²

posee casi exclusivamente suelos agrícolas de moderada capacidad de infiltración similares al tratamiento AG, la cual esta favorecida por la cobertura vegetal superficial que brinda la siembra directa (De la Vega et al., 2004). Si bien la subcuenca de 409 km² posee mayoritariamente los suelos bajo siembra directa antes descriptos, en los planos aluviales coexisten situaciones similares al tratamiento ganadero no degradado (GN), ganadero degradado (GD) y ganadero sódico (GS), estos últimos con baja capacidad de uso y escasa capacidad de infiltración. Dichos suelos se encuentran próximos a los cursos de agua, en ambientes más húmedos que los suelos arables de las lomas y con escasa cobertura superficial, con lo cual generarían una respuesta hidrológica casi inmediata ante lluvias de diversa magnitud como las que refleja la Figura 3.

Si bien no podemos descartar la variabilidad espacial de las lluvias como causal de esta discordancia entre microcuenca y subcuenca, debemos señalar que los pluviógrafos (Campos Los Patricios y La Esperanza) y pluviómetros (INTA San Pedro) presentes en la cuenca del Arroyo del Tala que fueron consultados para este trabajo, no mostraron diferencias que justifiquen la singularidad observada.

CONCLUSIONES

A modo de síntesis se puede señalar que la fragilidad de los suelos estudiados ha estado estrechamente relacionada con las propiedades intrínsecas de los mismos. La situación con menor contenido de materia orgánica y elevado porcentaje de sodio intercambiable desde superficie, asociada geomorfológicamente al plano aluvial del arroyo del Tala (tratamiento ganadero sódico) ha sido la que presentó la mayor tasa de escurrimiento y generación de sedimentos. Este tipo de ambiente podría constituir un punto crítico de contaminación por su proximidad a las vías de agua. Por el contrario aquellos suelos que presentaron elevados contenidos de carbono orgánico y bajo PSI desde superficie, independientemente de la posición que ocupaban en el paisaje y del uso de la tierra (tratamientos: agrícola AG y ganadero no degradado GN) mostraron un comportamiento de alta resiliencia. Esto se asocia al hecho de haber mantenido la superficie edáfica estable ante el impacto de las gotas de lluvia de alta energía cinética, logrando sostener una adecuada tasa de infiltración aún a pesar de ser susceptibles a los efectos de sellamiento superficial por su textura rica en limos.

Un caso especial lo constituyó el suelo fuertemente degradado por procesos de erosión anterior, ubicado en un sector de nacientes de la cuenca bajo estudio (tratamiento ganadero degradado GD). Este suelo ha demostrado una elevada fragilidad a la aplicación de lluvias intensas, respondiendo con producción de abundante escurrimiento. Sin embargo el mismo no evidenció una tasa alta de pérdida de suelo. Esto se debería a la presencia de un horizonte de alta resistencia caracterizado por una elevada densidad aparente, que se encontraba en superficie por efectos de procesos erosivos anteriores.

Los resultados alcanzados son destacables ya que el instrumento con el que se comparó la fragilidad de los tratamientos entre sí, aplicaba gotas de agua destilada con elevada energía cinética sobre suelos desprovistos de cobertura vegetal que pudieran disipar dicha energía. Estas diferencias podrían ser aún mayores a campo habida cuenta que los tratamientos ganadero sódico (GS) y ganadero degradado (GD) presentan escasa cobertura vegetal y mayor humedad edáfica a lo largo del año comparado con los restantes suelos estudiados.

La información obtenida podría explicar en parte la mayor frecuencia de pulsos de escurrimiento registrada en la subcuenca aforada del Arroyo del Tala respecto de la microcuenca agrícola adyacente a la anterior. Esto se debería a que los suelos con mayor capacidad de escurrimiento no se hallaban presentes en la microcuenca pero sí en la subcuenca. Esta información aporta nuevos elementos a los actuales estudios de vulnerabilidad asociados al manejo integrado de cuencas con el objeto de prevenir procesos de erosión del suelo y contaminación hídrica.

AGRADECIMIENTOS

A Marcelo J. Massobrio, Mario G. Castiglioni, Alfonso Buján y Esteban Palacín.
Trabajo realizado con subsidio de los Planes de Investigación UBACYT G 045 y G016.

REFERENCIAS

- Buján, A.; Santanatoglia, O. J.; Chagas, C. I.; Massobrio, M. J.; Castiglioni, M. G.; Yañez, M.; Ciallela, H. y Fernandez, J. 2003. Soil erosion evaluation in a small basin through the use of ^{137}Cs technique. *Soil Till Res.* 69: 127-137.
- Chagas, C. I. 1995. Efectos de la rugosidad superficial, el tamaño de agregados y la estabilidad estructural sobre la erosión entre surcos en un Argiudol. *Ciencia del Suelo* 13(2): 85-90.
- Chagas, C. I. 2007. Calidad y contaminación del agua superficial como recurso para bebida animal en una cuenca representativa de Pampa Ondulada. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Veterinarias, UBA.
- Chagas, C. I.; Iurtia, C.; Thisted, J.; Santanatoglia, O. J.; Massobrio, M. J.; Castiglioni, M. G. y Buján, A. 2004. Movimiento horizontal y vertical de agua y partículas en un Argiudol bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 22(2): 117-122.
- Chagas, C.I.; Piazza, M.V.; De Siervi, M.; Santanatoglia, O.J.; Moretton, J.; Paz M.; Castiglioni, M. G. y Iurtia, C. 2007. Calidad de agua de escorrentía superficial en sistemas ganaderos extensivos e intensivos de Argentina. *Revista Agrochimica LI* (2-3): 130-136.
- Chagas, C. I.; Santanatoglia O. J.; Castiglioni, M. G.; Massobrio M. J.; Buján A. e Iurtia, C. 2008. Número de curva de escurrimiento para una microcuenca de pampa ondulada bajo labranza convencional y siembra directa. *Ciencia del Suelo* 26: 71-79.
- De la Vega, G.; Castiglioni, M. G.; Massobrio, M. J.; Chagas, C. I.; Santanatoglia, O. J. e Iurtia, C. 2004. Infiltración de un Argiudol vértico bajo siembra directa en condiciones variables de cobertura y humedad inicial. *Ciencia del Suelo* 22(1): 52-55.
- INTA 1973. Carta de Suelos. Hoja 3360-33. Pérez Millán. E=1:50.000. 45 pags.
- INTA. 2009. EEA San Pedro. http://www.inta.gov.ar/sanpedro/info/met/valor_promedio.htm
- Iurtia, C. B. y Mon, R. 1994. Microsimulador de lluvia para determinar infiltración a campo. Publicación N°176: 1-18. Instituto de Suelos INTA-Castelar. Buenos Aires. Argentina
- Iurtia C.; Berón R.; Costamagna O. y Glave A. 1988. Provincia de Buenos Aires. En: A. Prego (ed.) *El Deterioro del Ambiente en la Republica Argentina*. Prosa-FECIC. pp. 55-64
- Kraemer F.B. 2011. Transporte de microorganismos indicadores de contaminación fecal en una cuenca de Pampa Ondulada. El rol de las propiedades físicas y químicas de los suelos y los sedimentos. Tesis de Magister Scientiae. Escuela para Graduados de la Facultad de Agronomía, UBA.
- Massobrio, M. J.; Castiglioni, M. G.; Chagas, C. I. y Santanatoglia, O. J. 1998. Análisis de sensibilidad de un modelo predictivo distributivo de producción de sedimentos y nutrientes asociados (AGNPS) en una microcuenca del arroyo del Tala,

- Argentina. *Revista Terra Latinoamericana* 16(4): 371-377.
- Nearing, M. A.; Lane, L. J.; Alberts, E. E. y Laflen, J. M. 1990. Prediction technology for soil erosion by water: status and research needs. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1702-1711.
- Ongley, E. D. 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Estudio FAO Riego y Drenaje n° 55, FAO, Roma. 116 pags.
- Snedecor, G. W. y Cochran, W. G. 1989. *Statistical Methods*. 8th Edition. (Iowa State University Press-AMES).
- Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. *Agricultural handbook 537*. United States Department of Agriculture. Washington D.C.
- Artículo recibido el 01/2011 y aprobado para su publicación el 08/2011.*